

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

特許第3173007号  
(P3173007)

(45) 発行日 平成13年 6 月 4 日 (2001. 6. 4)

(24) 登録日 平成13年 3 月30日 (2001. 3. 30)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

H 0 2 P 5/00

H 0 2 P 5/00

J

請求項の数 4 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願平4-504204

(86) (22) 出願日 平成4年2月5日 (1992. 2. 5)

(86) 国際出願番号 P C T / J P 9 2 / 0 0 1 1 0

(87) 国際公開番号 W O 9 2 / 1 4 2 9 6

(87) 国際公開日 平成4年8月20日 (1992. 8. 20)

審査請求日 平成11年2月2日 (1999. 2. 2)

(31) 優先権主張番号 特願平3-14517

(32) 優先日 平成3年2月5日 (1991. 2. 5)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(73) 特許権者 999999999

株式会社安川電機

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

(72) 発明者 柴田 尚武

東京都千代田区大手町1丁目6番1号

株式会社安川電機 東京支社内

(72) 発明者 浜田 兼幸

福岡県北九州市小倉北区大手町12番1号

株式会社安川電機 小倉工場内

(72) 発明者 浜本 浩明

福岡県北九州市小倉北区大手町12番1号

株式会社安川電機 小倉工場内

(74) 代理人 999999999

弁理士 小堀 益

審査官 紀本 孝

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電動機速度制御系におけるねじり振動抑制方法および装置

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 電動機の負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して電動機から負荷へ駆動トルクを伝達する機構と、速度指令 $N_{REF}$ に対して速度検出器より検出した電動機速度検出信号について一定周期毎の平均値の演算によって得られた電動機平均速度 $M_{MAVG}$ を帰還して偏差信号を演算し、比例ゲイン及び積分器又は比例ゲインのみを持つ速度制御器により前記偏差信号を増幅して得られたトルク指令信号 $T_{RFA}$ に従った電動機トルクとなるように電動機の電流を制御する制御装置によって構成された電動機速度制御系におけるねじり振動抑制制御方法において、

前記速度制御器により出力される前記トルク指令信号 $T_{RFA}$ に対し、前記電動機平均速度信号 $N_{MAVG}$ を微分した信号に電動機の慣性時定数 $\tau_M$ を乗じた信号を電動機加速

2

トルクの帰還信号 $T_{MAFB}$ として帰還し、その偏差信号を比例ゲイン及び積分器にて構成された電動機加速トルク制御器により増幅し得られたトルク補償信号 $T_{RFL}$ を前記速度制御器より出力されるトルク指令信号 $T_{RFA}$ に加えた信号 $T_{RFM}$ に従った電動機トルクとなるように電動機の電流を制御することによって、前記速度制御器により出力されるトルク指令信号 $T_{RFA}$ と前記電動機加速トルク帰還信号 $T_{MAFB}$ が一致するように演算され出力されたトルク補償信号 $T_{RFL}$ により電動機負荷トルクを打ち消すように制御することを特徴とする電動機速度制御系におけるねじり振動抑制方法。

【請求項2】 電動機速度を検出する速度検出手段と、電動機の負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して電動機から負荷へ駆動トルクを伝達する機構と、速度指令 $N_{REF}$ に対して速度検出器より検出した電動機速

BEST AVAILABLE COPY

度検出信号について一定周期毎の平均値の演算によって得られた電動機平均速度 $N_{MAVG}$ を帰還して偏差信号を演算し、比例ゲイン及び積分器又は比例ゲインのみを持つ速度制御手段により前記偏差信号を増幅して得られたトルク指令信号 $T_{RFA}$ に従った電動機トルクとなるように電動機の電流を制御する制御装置とによって構成された電動機制御装置において、

前記速度制御手段の出力信号であるトルク指令信号 $T_{RFA}$ と、前記電動機平均速度信号 $N_{MAVG}$ を微分又は一次遅れ微分した信号に電動機の機械的時定数 $\tau_M$ を乗じた信号との偏差信号からトルク指令補償信号 $T_{RFL}$ を演算する、比例ゲイン及び積分器を持つ電動機加速トルク制御手段と、

前記速度制御手段の出力信号であるトルク指令信号 $T_{RFA}$ と前記電動機加速トルク制御手段の出力信号であるトルク指令補償信号 $T_{RFL}$ との和であるトルク指令 $T_{RFM}$ に従った電動機トルクとなるように電動機の電流を制御する電動機トルク制御手段と

を備えた、負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して電動機から負荷へ駆動トルクを伝達する機構を持つ電動機速度制御系における電動機制御装置。

【請求項3】電動機の負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して電動機から負荷へ駆動トルクを伝達する機構と、速度指令 $N_{REF}$ に対して速度検出器より検出した電動機速度検出信号について一定周期毎の平均値の演算によって得られた電動機平均速度 $N_{MAVG}$ を帰還して偏差信号を演算し、比例ゲイン及び積分器又は比例ゲインのみを持つ速度制御器により前記偏差信号を増幅して得られたトルク指令信号 $T_{RFA}$ に従った電動機トルクとなるように電動機の電流を制御する制御装置によって構成された電動機速度制御系におけるねじり振動抑制制御方法において、

前記速度制御器により出力される前記トルク指令信号 $T_{RFA}$ に対し、前記電動機平均速度信号 $N_{MAVG}$ を微分した信号に電動機の機械的時定数 $\tau_M$ を乗じた信号を電動機加速トルクの帰還信号 $T_{MAFB}$ として帰還し、その偏差信号を比例積分演算器とその出力側に2次の遅れ要素を持つフィルタを挿入し構成した電動機加速トルク制御器により前記偏差信号から高い周波数成分の信号を除去した信号成分を増幅して得られたトルク補償信号 $T_{RFL}$ を前記速度制御器より出力されるトルク指令信号 $T_{RFA}$ に加えた信号 $T_{RFM}$ に従った電動機トルクとなるように電動機の電流を制御することにより、前記速度制御器により出力されるトルク指令信号 $T_{RFA}$ と前記電動機加速トルク帰還信号 $T_{MAFB}$ が一致するように演算され出力されたトルク補償信号 $T_{RFL}$ により電動機負荷トルクを打ち消すように制御することを特徴とする電動機速度制御系におけるねじり振動抑制方法。

【請求項4】電動機速度を検出する速度検出手段と、電動機の負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して

電動機から負荷へ駆動トルクを伝達する機構と、速度指令 $N_{REF}$ に対して速度検出器より検出した電動機速度検出信号について一定周期毎の平均値の演算によって得られた電動機平均速度 $N_{MAVG}$ を帰還して偏差信号を演算し、比例ゲイン及び積分器又は比例ゲインのみを持つ速度制御手段により前記偏差信号を増幅して得られたトルク指令信号 $T_{RFA}$ に従った電動機トルクとなるように電動機の電流を制御する制御装置とによって構成された電動機制御装置において、

10 前記速度制御手段の出力信号であるトルク指令信号 $T_{RFA}$ と、前記電動機平均速度信号 $N_{MAVG}$ を微分した信号に電動機の慣性時定数 $\tau_M$ を乗じた信号との偏差信号からトルク指令補償信号 $T_{RFL}$ を演算する、比例ゲイン及び積分器ならびに2次の遅れ要素を持つフィルタを含む電動機加速トルク制御手段と、

前記速度制御手段の出力信号であるトルク指令信号 $T_{RFA}$ と前記電動機加速トルク制御手段の出力信号であるトルク指令補償信号 $T_{RFL}$ との和であるトルク指令 $T_{RFM}$ に従った電動機トルクとなるように電動機の電流を制御する電動機トルク制御手段と

20 を備えた、負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して機械に回転トルクを伝達する機構と反負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して回転体に回転トルクを伝達し、その回転体の回転軸に速度検出器を取り付けた機構を備えた電動機速度制御系における電動機制御装置。

【発明の詳細な説明】

#### 技術分野

本発明は、電動機の負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して電動機から負荷へ駆動トルクが伝達される機構を備えた機械設備において、電動機の回転速度を制御する駆動制御装置のねじり振動抑制方法および装置お、電動機の負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して機械に回転トルクを伝達する機構と反負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して回転体に回転トルクを伝達し、その回転体の回転軸に速度検出器を取り付けた機構を備えた設備における電動機の回転速度を制御する駆動制御装置のねじり振動抑制方法および装置に関する。

#### 背景技術

40 図1は、一般的な可変速度駆動装置の機械図を示すもので、機械5には、電動機2によりねじり剛性率 $K$  [kg m/rad] の駆動軸4を介して回転トルクが伝達されている。

可変速制御装置1は、電動機2に取り付けられた速度検出器3により検出した信号を速度帰還信号として電動機2の速度を制御している。

図2は公知のねじり振動系を含む速度制御ブロックダイアグラムを示す。同図において、速度制御器11は比例ゲイン $A$ および時定数 $\tau_1$ の積分器を持ち、10で示す速度指令 $N_{REF}$ と速度帰還信号 $N_{MFE}$ との偏差を増幅し、トル

ク指令信号 $T_{REF}$ を出力する。そのトルク指令信号 $T_{REF}$ が電動機トルク制御器17に入力されると電動機トルク制御器17は1次遅れ時定数 $\tau_T$ にて電動機のトルクを制御する。なお、速度帰還信号 $N_{Fb}$ は、電動機の回転速度 $N_M$ を一次遅れ要素16 ( $\tau_F$ は速度検出フィルタ遅れ時定数)を介して生成したものである。

前記のトルク指令信号 $T_{REF}$ に従って電動機トルク $T_M$ が制御される。

12は電動機の機械的時定数 $\tau_M$ を表すブロック、13はねじり時定数 $\tau_v$ を表すブロック、14は負荷の機械的時定数 $\tau_L$ を表すブロックである。

また15は機械5に掛かる負荷トルク $T_{L2}$ 、 $N_L$ は負荷の速度である。

1

$$\left(\frac{s}{\omega_F}\right)^2 + 2\delta_F \left(\frac{s}{\omega_F}\right) + 1$$

但し $\omega_F$ はフィルタによる過渡ゲイン低減開始角周波数、 $\delta_F$ はフィルタ特性定数、 $s$ はラプラス演算子である。

従来においては、前式に示すフィルタの角周波数 $\omega_F$ とフィルタ特性定数 $\delta_F$ と速度制御器11の比例ゲイン $A$ を設備毎に調整してねじり振動の影響が小さくなるフィルタ定数を選んでいた。

ところが、従来技術ではフィルタ係数 $\omega_F$ と $\delta_F$ を設備毎に選んで調整するだけでは、フィルタを入れることによって速度制御系の速度指令と速度帰還信号との位相遅れ角が更に大きくなってしまふことから、速度制御系が不安定となる。このため速度制御器の比例ゲイン $A$ を大幅に下げなければならない場合が多く、これでは速度制御系の応答性を大幅に低下させて使用することになり、設備上必要とする速度制御応答特性が得られないという問題がある。

さらに図5は、一般的な可変速駆動装置の他の機械図を示すもので、機械5には、電動機2により低ねじり剛性 $K_1$ の駆動軸4を介して回転トルクが伝達され、電動機2の反負荷側の回転体6には、電動機2によりねじり剛性率 $K_2$ の駆動軸7を介して回転トルクが伝達され、その回転体6の回転軸には、その回転体6の速度を検出する速度検出器3が取り付けられている。

可変速制御装置1には、速度検出器3により検出した信号を1次遅れ要素を持つフィルタを介して生成した信号を速度帰還信号 $N_{Fb}$ として電動機2の速度を制御している。

図6は図5に示すねじり振動系を含む速度制御ブロックダイアグラムを示すものである。同図において、速度制御器11は比例ゲイン $A$ および時定数 $\tau_T$ の積分器を持ち、10で示す速度指令 $N_{REF}$ と速度帰還信号 $N_{Fb}$ との偏差を増幅し、トルク指令信号 $T_{REF}$ を出力する。そのトルク

\* 図2のブロックダイアグラムにおいて、入力にランプ状(直線加速状)の速度指令 $N_{REF}$ を与え、電動機速度 $N_M$ と負荷速度 $N_L$ が立ち上がるときに、駆動軸4にねじれが生じると、駆動軸のねじり剛性率と電動機のイナーシャと機械と負荷を合わせたイナーシャから決定される回転運動の機械的な共振周波数にて速度制御系の過渡的なゲインが異常に上昇することから、図3に示すように機械設備に有害となる周期的な速度変動が発生する。

この問題の解決手段として、従来技術では、機械系の共振点の過渡的なゲインを低減するために、図4に示すように速度制御器11の出力側にねじり振動抑制フィルタ18を挿入していた。このねじり振動抑制フィルタ18の伝達関数は次式で表される。

$$\dots (1)$$

指令信号 $T_{REF}$ が電動機トルク制御器17に入力されると電動機トルク制御器17は1次遅れ時定数 $\tau_T$ にて電動機のトルクを制御する。なお、速度帰還信号 $N_{Fb}$ は、速度検出器3により検出した信号を一次遅れ要素19 ( $\tau_{F0}$ は速度検出フィルタ遅れ時定数)を介して生成したものである。

前記のトルク指令信号 $T_{REF}$ に従って電動機トルク $T_M$ が制御される。

12は電動機の機械的時定数 $\tau_M$ を表すブロック、13は電動機負荷側の駆動軸のねじり時定数 $\tau_{v1}$ を表すブロック、14は負荷の機械的時定数 $\tau_L$ で表すブロック、15は機械5に掛かる負荷トルク $T_{L2}$ 、 $N_L$ は機械の速度である。また20は電動機の反負荷側の駆動軸7のねじり時定数 $\tau_{v2}$ を表すブロック、21は、電動機の反負荷側の回転体6の機械的時定数 $\tau_B$ を表すブロックである。

図6のブロックダイアグラムにおいて、入力にランプ状(直線加速状)の速度指令 $N_{REF}$ を与えるとき、電動機速度 $N_M$ と負荷速度 $N_L$ が立ち上がるときに、電動機2の反負荷側の駆動軸7にねじれが生じると各回転部分のイナーシャと駆動軸7のねじり剛性率 $K_2$ によって決定される回転運動の機械的な共振周波数により速度制御系の過渡的なゲインが異常に上昇することから、図7に示すように電動機加速中に機械設備や製品に有害な周期的な速度変動が発生する。

電動機加速完了後、負荷が急変すると、電動機2の負荷側の駆動軸4にねじれが生じると、各回転部分のイナーシャと駆動軸4のねじり剛性率 $K_1$ によって決定される回転運動の機械的な共振周波数により速度制御系の過渡的なゲインが異常に上昇することから、図7に示すように負荷急変後に機械設備や製品に有害な速度変動が発生する。

この問題の解決手段として、従来技術では、機械系の

共振点の過渡的なゲインを低減するために、図8に示すように速度制御器11の出力側にねじり振動抑制フィルタ\*

\*22を挿入していた。このねじり振動抑制フィルタ22の伝達関数は次式で表される。

$$\frac{1}{\left(\frac{s}{\omega_{Fo}}\right)^2 + 2\delta_{Fo}\left(\frac{s}{\omega_{Fo}}\right) + 1} \dots (2)$$

但し $\omega_{Fo}$ はフィルタによる過渡ゲイン低減開始角周波数、 $\delta_{Fo}$ はフィルタ特性定数、 $s$ はラプラス演算子である。

従来においては、前式に示すフィルタの角周波数 $\omega_{Fo}$ とフィルタ特性定数 $\delta_{Fo}$ と速度制御器11の比例ゲイン $A$ を設備毎に調整してねじり振動の影響が小さくなるようにフィルタ定数を選んでいた。

ところが、従来技術ではフィルタ定数 $\omega_{Fo}$ と $\delta_{Fo}$ を設備毎に選んで調整していたが、フィルタを入れることによって速度制御系の速度指令と速度帰還信号との位相遅れ角が更に大きくなってしまふことから、速度制御系が不安定となる。このため速度制御器の比例ゲイン $A$ を大幅に下げなければならない場合が多く、これでは速度制御系の応答性を大幅に低下させて使用することにより、設備上必要とする速度制御応答特性が得られないという問題があった。

そこで本発明は、速度制御系の応答性を低下させずに電動機の負荷側または電動機の負荷側および反負荷側に発生するねじり振動を抑制する方法を提供することを目的とする。

発明の開示

この目的を達成するため、本発明の第1は、ねじりバネ系を有する駆動軸を介して電動機から負荷へ駆動トルクを伝達する機構を持つ電動機速度制御系におけるねじり振動抑制方法において、

電動機速度検出信号について一定周期毎の平均値を演算し、それによって得られた平均速度 $N_{MAVG}$ と速度指令 $N_{REF}$ との偏差信号から、比例ゲインおよび積分器または比例ゲインのみを持つ速度制御器によりトルク信号 $T_{RFA}$ を演算し、そのトルク指令信号 $T_{RFA}$ を電動機加速トルク指令とし、その指令に対し、前記電動機平均速度信号 $N_{MAVG}$ を微分した信号に電動機の機械的時定数 $\tau_M$ を乗じた信号を電動機加速トルクの帰還信号として、その偏差信号から比例ゲインおよび積分器を持つ電動機加速トルク制御器により電動機の加速トルクに対し外乱トルクとなっている電動機の負荷トルクを打ち消すトルク指令補償信号 $T_{RFL}$ を演算し、そのトルク指令補償信号 $T_{RFL}$ を前記速度制御器出力のトルク指令信号 $T_{RFA}$ を加えた信号 $T_{RPM}$ を電動機のトルク指令として電動機の制御を行うことを特徴とする。

一般的に電動機速度検出器の信号には、高い周波数の脈動信号を含んでおり、この速度検出信号を微分しても電動機速度の変化率に比例する信号を得ることはでき

ないが、一定周期毎の電動機速度検出器の信号の平均値を演算することによって、速度信号の脈動値が低減され、その信号から電動機速度の変化率を演算することが可能となる。

本発明においては、電動機の加速トルク指令は、速度制御器の出力信号によって与えられ、電動機の加速トルクの外乱となっている電動機の負荷トルクに対しては、比例ゲインおよび積分器を持つ電動機加速トルク制御器の出力のトルク指令補償信号によって打ち消す方向に制御される結果、加速中の急激な負荷変動時の負荷、駆動軸のねじれによって発生する電動機の外乱トルクを打ち消す方向に作用して、ねじり振動が抑制され、安定した可変速特性が得られる。

さらに本発明の第2は、電動機の負荷側の低ねじり剛性の駆動軸を介して負荷側の機械に回転トルクを伝達する機構と電動機の反負荷側の低ねじり剛性の駆動軸を介して反負荷側の回転体に回転トルクを伝達し、その回転体の速度を検出する機構を備えた電動機速度制御系におけるねじり振動抑制方法において、電動機の反負荷側の回転体の回転軸に取り付けた速度検出器により検出した信号の一定周期毎の平均値を演算し、それによって得られた平均速度 $N_{MAVG}$ と速度指令 $N_{REF}$ との偏差信号から、比例ゲインと積分器または比例ゲインのみを持つ速度制御器によりトルク指令信号 $T_{RFA}$ を演算し、そのトルク指令信号 $T_{RFA}$ を電動機加速トルク指令とし、その指令に対し、前記平均速度 $N_{MAVG}$ を微分した信号に1次遅れ要素を持つフィルタを介して生成される信号に、電動機の機械的時定数 $\tau_M$ を乗じた信号を電動機加速トルクの帰還信号として、その偏差信号から比例ゲインおよび積分器を持つ電動機加速トルク制御器により演算し得られた信号を更に2次遅れ要素を持つフィルタを介し、電動機の加速トルクに対し外乱トルクとなっている電動機の負荷トルクを打ち消すトルク補償信号 $T_{RFL}$ を生成し、そのトルク指令補償信号 $T_{RFL}$ を前記速度制御器出力のトルク指令信号 $T_{RFA}$ に加えた信号を電動機のトルク指令として電動機の制御を行うことを特徴とする。

本発明においては、電動機の加速トルク指令は、速度制御器の出力信号によって与えられ、速度帰還信号を微分した信号に電動機の機械的時定数を乗じることによって得られた電動機加速トルク信号を帰還し、その偏差信号から、比例積分演算器の出力側に2次遅れ要素を持つフィルタを挿入し構成した電動機加速速度制御器により演

算した電動機加速トルク指令補償信号によって打ち消す方向に制御される結果、加速中や急激な負荷変動時に、負荷側と反負荷側の駆動軸のねじれによって発生する電動機の外乱トルクを打ち消す方向に作用する。速度帰還信号には、反負荷側の駆動系のねじり振動の影響を受け、高い周波数の脈動信号を含んでいるため、この速度帰還信号を微分すると必要とする電動機の回転速度の変化率に比例する信号とこの高い周波数の脈動周波数を含ませた信号となり、大きな演算誤差を含んでいるが、本発明においては、電動機加速トルク制御器の出力側に挿入された2次遅れ要素を持つフィルタを介して速度変化率の演算により生じた高い周波数の脈動信号を大幅に減衰させて、前記の演算誤差を小さくしている。

これによって、安定した電動機加速トルク補償信号が得られ、電動機の負荷側と反負荷側のねじり振動が抑制され、安定した可変速特性が得られる。

図面の簡単な説明

図1は、負荷側に低ねじり剛性の駆動軸を含む可変速制御装置構成図である。

図2は、図1の系に対する従来の速度制御系の速度制御ブロックダイアグラムである。

図3は、ねじり振動の影響を強く受けた場合の速度制御装置の加速特性と負荷応答特性図である。

図4は、従来技術のねじり振動抑制フィルタを備えた速度制御系のブロックダイアグラムである。

図5は、負荷側と反負荷側に低ねじり剛性の振動軸を含む可変速制御装置構成図である。

図6は、図5の系に対する従来の速度制御系の速度制御ブロックダイアグラムである。

図7は、ねじり振動の影響を強く受けた場合の速度制御装置の加速特性と負荷応答特性図である。

図8は、従来技術のねじり振動抑制フィルタを備えた速度制御系のブロックダイアグラムである。

図9は、本発明の第1実施例の構成を示すブロックダイアグラムである。

図10は、本発明の第2実施例の構成を示すブロックダイアグラムである。

図11は、第2実施例における演算のフローチャートである。

図12は、本実施例の効果を示す速度制御装置の加速特性と負荷応答特性図である。

図13は、本発明の第3実施例を示すブロックダイアグラムである。

図14は、本発明の第4実施例を示すブロックダイアグラムである。

図15は、第4実施例における演算のフローチャートである。

図16は、本実施例の効果を示す速度制御装置の加速特性と負荷応答特性図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の第1実施例として、アナログ演算器により構成した速度制御器を有する速度制御装置のブロックダイアグラムを図9に示す。なお、従来例を示す図2と同じ構成要素については同じ符号を用いて説明を省略する。

本実施例では、平均速度演算器19によって電動機駆動軸に取付けた速度検出器3(図1参照)の信号について一定周期 $t_s$ 間の平均値を演算する。

この一定周期毎の平均速度の演算の方法は、例えば、速度検出器がパルス信号発生器であれば、速度検出器3より出力されるパルス信号の同期 $t_s$ 間の計数値を $t_s$ で割ることによって $t_s$ 間のパルスの平均周波数として、 $t_s$ 間の平均速度を求めることができる。アナログ式の速度検出電動機の場合は、一定周期 $t_s$ 間で速度検出器の信号を $n$ 回読み、これらの信号の合計値の $1/n$ を $t_s$ 間の平均速度とすることができる。

この一定周期毎の電動機平均速度を $N_{MAVG}$ とし、まず速度制御器11の動作について説明する。

速度指令 $N_{REF}$ と電動機平均速度 $N_{MAVG}$ とその偏差を速度制御器11に入力すると、その速度偏差信号に比例ゲイン $A$ を乗じた信号と、更にその信号を時定数 $\tau_i$ にて積分した信号とを加えた信号をトルク指令信号 $T_{RFA}$ として出力する。速度制御器11が比例ゲイン $A$ のみを持つ場合は、その速度偏差信号に $A$ を乗じた信号を $T_{RFA}$ として出力する。

次に、電動機加速トルク演算器24の動作について説明する。

一定周期毎の電動機平均速度 $N_{MAVG}$ が電動機加速トルク演算器24に入力されると、 $N_{MAVG}$ を微分した値に電動機の機械的時定数 $\tau_M$ を乗じた値の信号 $T_{MAFB}$ を出力する。この信号 $T_{MAFB}$ は電動機の加速トルク信号となる。

なお、電動機加速度演算器24における1次遅れ要素は、アナログ系での微分が不完全微分となることによって生じる時定数 $\tau_{F1}$ である。

次に電動機加速トルク制御器25の動作について説明する。

速度制御器11のトルク指令信号 $T_{RFA}$ を電動機の加速トルクとし、その指令に対し電動機加速トルク演算器24の出力信号 $T_{MAFB}$ を電動機の加速トルク信号として帰還し、その2つの信号の偏差を電動機加速トルク制御器25に入力すると、その電動機加速トルク制御器25は、その2つの信号偏差の信号に比例ゲイン $G$ を乗じた信号 $T_{RFLP}$ とその信号を時定数 $\tau_{LI}$ にて積分して得られた信号 $T_{RFLI}$ を加えた信号 $T_{RFL}$ を出力し、電動機加速トルク信号 $T_{MAFB}$ が、速度制御器11の出力のトルク指令信号 $T_{RFA}$ に一致するように制御する。

速度制御器11の出力のトルク指令信号 $T_{RFA}$ と電動機加速トルク制御器25の出力信号 $T_{RFL}$ を加えた信号をトルク指令 $T_{RFM}$ として電動機のトルク制御を行うことにより電動機の加速トルクの外乱となっている負荷トルク $\tau_{LI}$ に

対しては、電動機加速トルク制御器25の出力のトルク指令補償信号 $T_{RFL}$ によって打ち消す方向に制御される結果、前記の電動機トルク指令信号が、加速中や負荷急変時の駆動軸のねじれによって発生する電動機の外乱トルクを打ち消す方向に作用して、ねじり振動が抑制される。

これを更に説明すれば、図9において $T_{RFA}$ 、 $T_{RFL}$ 、 $T_{RFM}$ 、 $T_M$ 、 $T_{MA}$ 、 $T_{LI}$ は単位法(P.U)で表されており、次の関係が成立する。

$$T_{MA} = T_M - T_{LI} \quad \dots\dots (3) \times 10$$

$$T_{RFL} = (T_{RFA} - \tau_M N_M S) G \left( \frac{1 + \tau_{LI} S}{\tau_{LI} S} \right)$$

電動機の加速トルク $T_{MA}$ は次式で表される。

$$T_{MA} = N_M \tau_M S \quad \dots\dots (8) \times$$

$$T_{RFL} = (T_{RFA} - \tau_{MA}) G \left( \frac{1 + \tau_{LI} S}{\tau_{LI} S} \right)$$

(9) 式に(6)式の $T_{MA}$ を代入すると、 $T_{RFL}$ は次式 ★ ★のように $T_{RFA}$ が消去された式となる。

$$T_{RFL} = \left[ \frac{1 + \tau_{LI} S}{1 + \left( \frac{1+G}{G} \right) \tau_{LI} S} \right] T_{LI} \quad \dots\dots (10)$$

加速度制御器25の比例ゲイン $G$ が十分大きく設定可能な場合は、

$(1+G)/G \approx 1$ となり、 $T_{RFL} \approx T_{LI}$ となる。

$G$ の値が大きく設定できない場合でも、時間の経過に☆

$$T_{RFA} - T_{MA} = \left[ \frac{\left( \frac{\tau_{LI}}{G} \right) S}{1 + \left( \frac{1+G}{G} \right) \tau_{LI} S} \right] T_{LI}$$

(11) 式の右辺の数式は、時間の経過に伴ってラプラス演算子 $S$ は0に近づいていくので、ほぼ0、すなわち  $T_{RFA} - T_{MA} \approx 0$ となる。

したがって、前記電動機速度制御器11の出力信号 $T_{RFA}$ は前記電動機加速トルクに等しくなるように制御されている。

以上のように、電動機の負荷外乱トルク $T_{LI}$ は、電動機加速度制御器25より出力されるトルク指令補正信号 $T_{RFL}$ によりほぼ完全に打ち消されている。

次に、デジタル演算器により構成された速度制御器を有する速度制御装置への本発明の第2実施例のブロックダイアグラムを図10に示し、図9のアナログ制御系の

$$* T_{RFM} = T_{RFA} + T_{RFL} \quad \dots\dots (4)$$

電動機トルク制御器17によるトルク制御遅れは小さいので無視し、 $T_M$ を(5)式のように近似する。

$$T_M \approx T_{RFM} \quad \dots\dots (5)$$

(3) 式は、(4)、(5)式により次のようになる。

$$T_{MA} \approx T_{RFA} + T_{RFL} - T_{LI} \quad \dots\dots (6)$$

電動機加速度制御器25より出力されるトルク指令補正信号 $T_{RFL}$ を速度制御器11より出力されるトルク指令 $T_{RFA}$ を用いて表す。

$$\dots\dots\dots (7)$$

※ (7) 式に(8)式の $T_{MA}$ を代入する。

$$\dots\dots\dots (9)$$

☆よりラプラス演算子 $S$ はゼロに近づくので、 $T_{RFL} \approx T_{LI}$ となる。

30 また、(10)式の $T_{RFL}$ に(9)式の $T_{RFL}$ を代入し、 $(T_{RFL} - T_{MA})$ を求めると(11)式となる。

$$\dots\dots\dots (11)$$

ブロックダイアグラムとの相違点のみを説明する。

図10において、一点鎖線にて囲まれている速度制御器11、電動機平均速度演算器23、電動機加速トルク演算器24、電動機加速トルク制御器25は一定周期 $t_s$ 毎に実行される。

図9は、アナログ演算方式によるブロック図であるが、デジタル演算によって本制御を実現することができ、デジタル演算方式の例を図10のブロック図に示し、そのフローチャートを図11に示す。

図9の方式は、これらの演算がアナログであるのに対し、図10の方式では、このアナログ演算がデジタル演算となっているのみである。その演算例として電動機の

加速トルク演算器24について説明する。

いま、 $t = t_a$ において、平均速度演算器によって演算された平均速度信号を $N_{MAVG}(n)$ とすると、 $t = t_{a-1} = t_a - t_1$ において演算された平均速度は $N_{MAVG}(n-1)$ であるが、この信号はブロック図では $N_{MAVG}$ と $Z$ 関数 $Z^{-1}$ の積として表されている。

電動機加速トルク演算器24は、 $t = t_a$ において $[N_{MAVG}(n) - N_{MAVG}(n-1)] / t_s$ の演算を行って電動機速度の変化率を求める。

この変化率に電動機の機械的時定数 $\tau_M$ を乗じた信号 $\{[N_{MAVG}(n) - N_{MAVG}(n-1)] \cdot \tau_M / t_s\}$ が電動機加速トルク帰還信号 $T_{MAFB}$ である。

図12は、本発明のデジタル方式を適用することにより軸振動が抑制された安定した可変速特性を示している。

図13は、本発明の第3実施例として、軸振動抑制機能を備えた速度制御装置のブロック図である。なお、従来例を示す図6と同じ構成要素については、同じ符号を用い説明を省略する。電動機の反負荷側の回転体の回転軸に取り付けられた検出器の信号の一定周期毎の平均値を演算し、それによって得られた平均速度 $N_{MAVG}$ として、まず速度制御器11の動作について説明する。

速度指令 $N_{REF}$ と平均速度信号 $N_{MAVG}$ とその偏差を速度制御器11に入力すると、その速度偏差信号に比例ゲイン $A$ を乗じた信号と、更にその信号を時定数 $\tau_I$ にて積分した信号とを加えた信号をトルク指令信号 $T_{RFA}$ として出力する。速度制御器11が比例ゲイン $A$ のみを持つ場合は、その速度偏差信号に $A$ を乗じた信号を $T_{RFA}$ として出力する。

電動機加速トルク演算器24は、図9のブロック24と全く同様の演算機能を持つものであるため、説明を省略する。

次に電動機加速トルク制御器26の動作について説明する。

速度制御器11のトルク指令信号 $T_{RFA}$ を電動機の加速トルク指令とし、その指令に対し電動機加速トルク演算器

24の出力信号 $T_{MAFB}$ を電動機の加速トルク信号として帰還し、その2つの信号の偏差を電動機加速トルク制御器26に入力すると、その電動機加速トルク制御器26は、その2つの信号偏差の信号に比例ゲイン $G$ を乗じた信号 $T_{RFLP}$ とその信号を時定数 $\tau_{LI}$ にて積分して得られた信号 $T_{RFLI}$ を加えた信号 $T_{RFL}$ を2つの一次遅れ要素信号時定数 $\tau_{F2}$ 、 $\tau_{F3}$ と比例ゲイン $G_F$ によって構成した2次遅れ要素を持つフィルタ27を介して生成した信号 $T_{RFL}$ を出力し、電動機加速トルク帰還信号 $T_{MAFB}$ が速度制御器11の出力のトルク指令信号 $T_{RFA}$ に一致するように制御する。

速度制御器11の出力のトルク指令信号 $T_{RFA}$ と電動機加速トルク制御器26の出力信号 $T_{RFL}$ を加えた信号をトルク指令 $T_{RFM}$ として電動機のトルク制御を行うことにより電動機の加速トルクの外乱となっている負荷トルク $\tau_{LI}$ に対しては、電動機加速トルク制御器26の出力のトルク指令補償信号 $T_{RFL}$ によって打ち消す方向に制御される結果、前記の電動機トルク指令信号が、加速中や負荷急変時の電動機の負荷側と反負荷側の駆動軸のねじれによって発生する電動機の外乱トルクを打ち消す方向に作用して、ねじり振動が抑制される。

図13はアナログ演算方式によるブロック図であるが、デジタル演算によって本制御を実現することができ、デジタル演算方式の第4実施例を図14に示し、その演算のフローチャートを図15に示す。

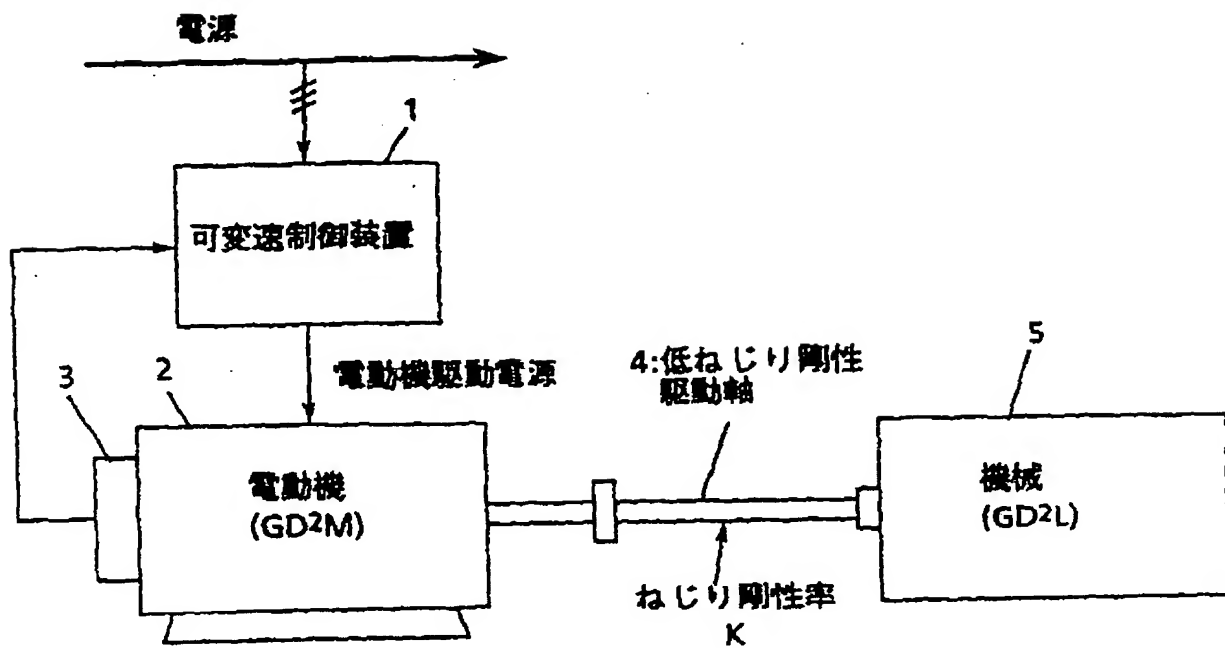
図13の方式はこれらの演算がアナログであるのに対し、図14の方式では、このアナログ演算がデジタル演算となっているのみである。

図16は本発明を適用することにより電動機の負荷側と反負荷側の軸振動が抑制された安定した可変速特性を示している。

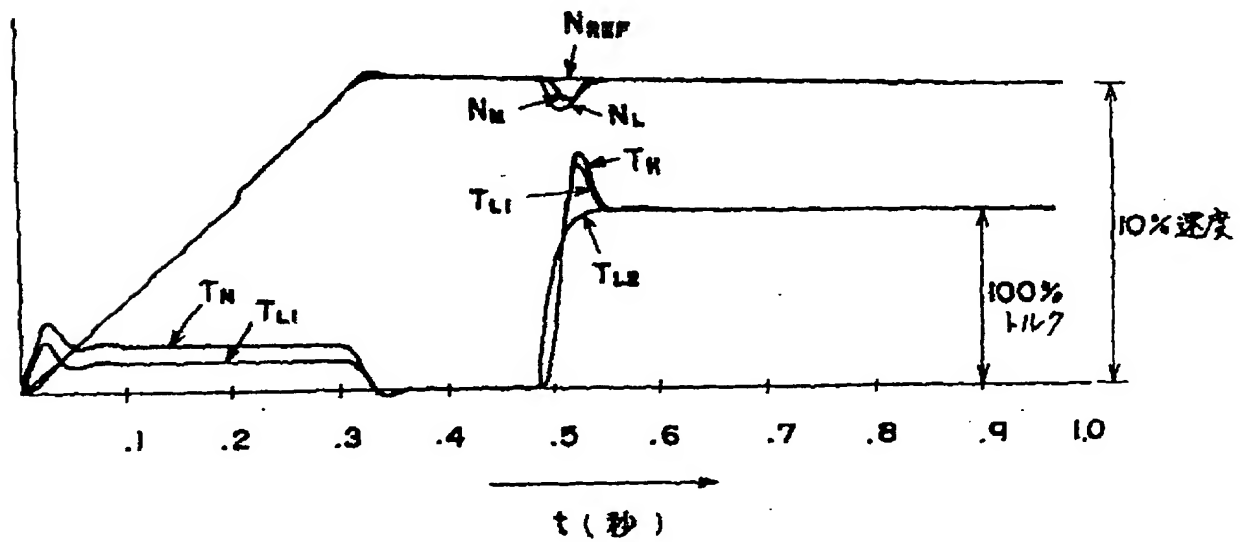
産業上の利用可能性

本発明は、鉄鋼産業分野の圧延後、プロセスラインや一般産業分野の抄紙機、繊維機械等の設備において、負荷側あるいは負荷側と反負荷側に設けられた低ねじり剛性の駆動軸を介して機械設備に電動機の回転力を伝達する機械系の制御に利用することができる。

【第1図】



【第12図】

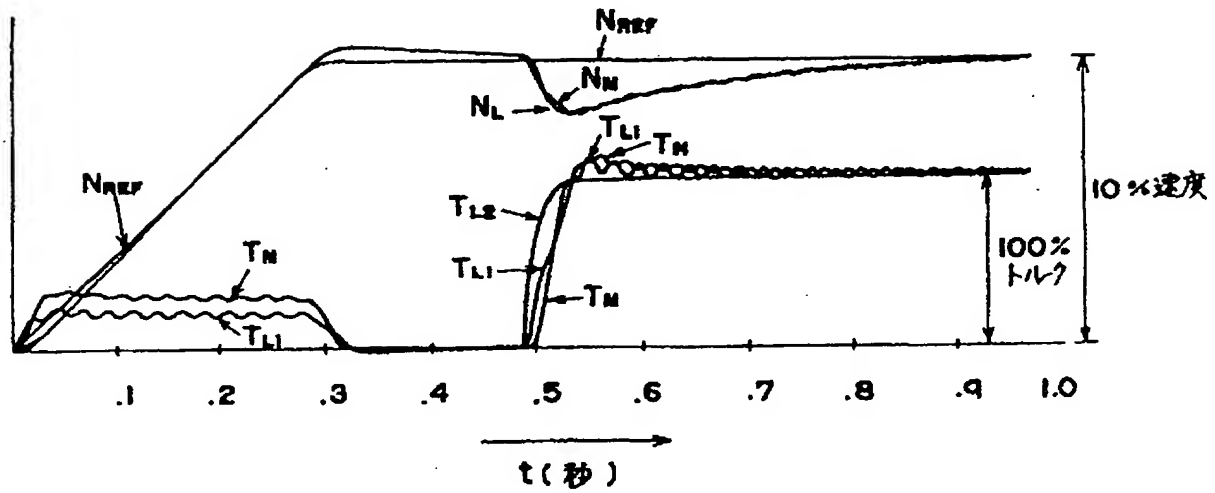


- |           |            |
|-----------|------------|
| $N_{REF}$ | ■ 速度指令     |
| $N_M$     | ■ 電動機速度    |
| $N_L$     | ■ 負荷速度     |
| $T_M$     | ■ 電動機トルク   |
| $T_{L1}$  | ■ 負荷駆動軸トルク |
| $T_{L2}$  | ■ 負荷トルク    |



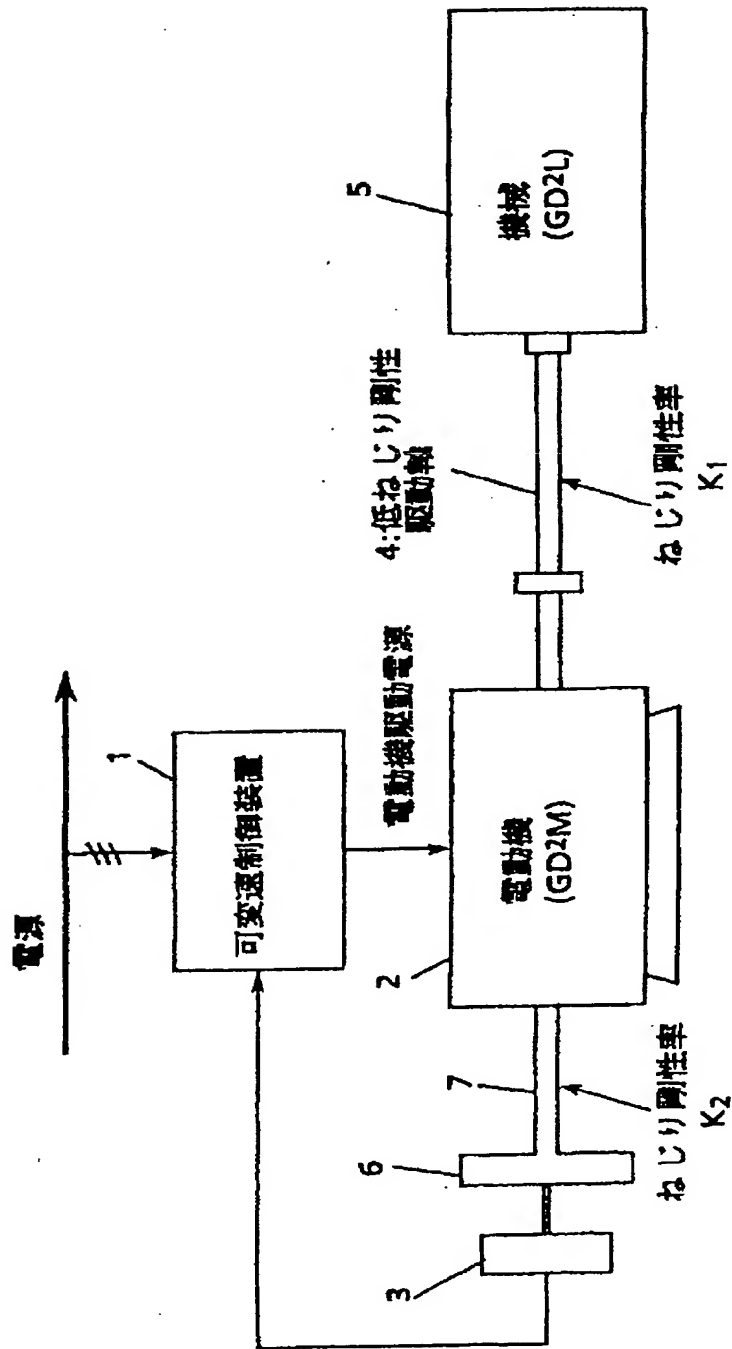


【第3図】

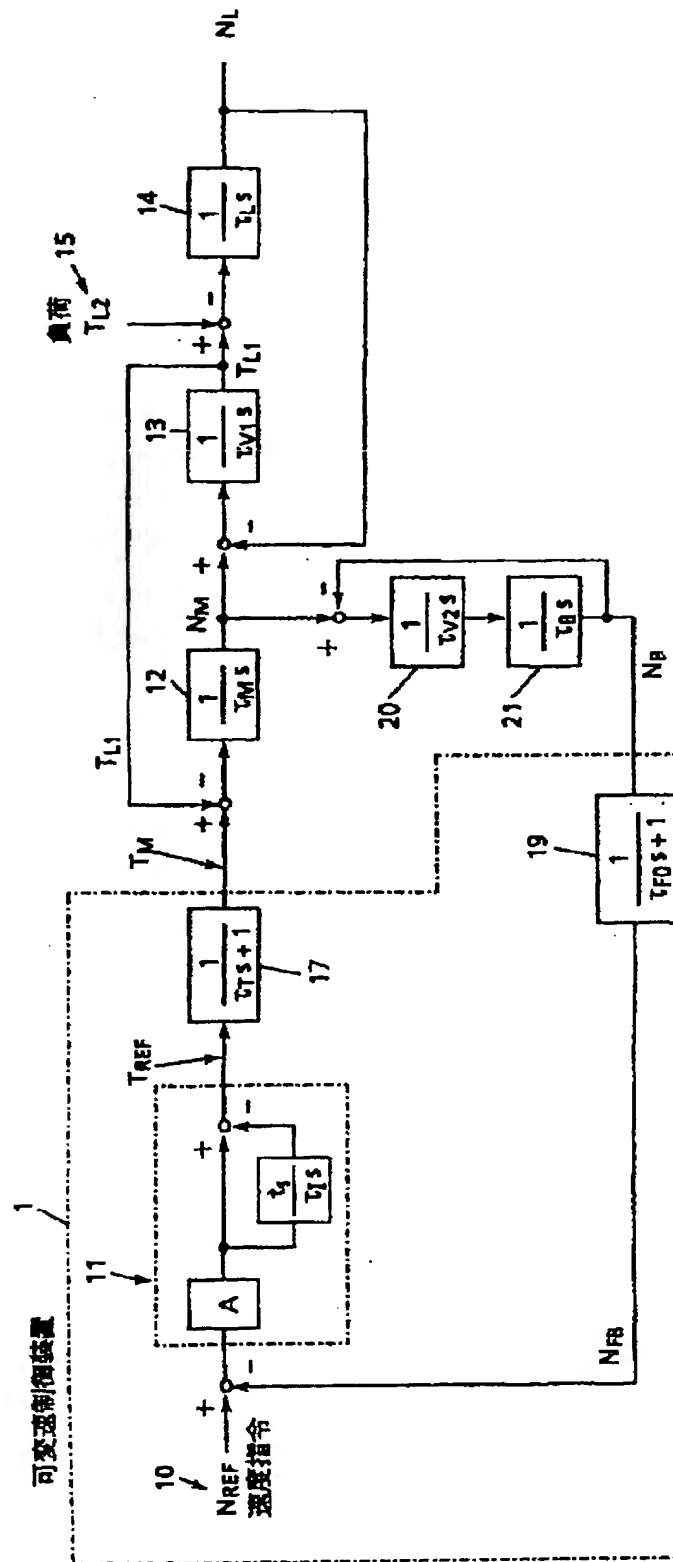


- $N_{REF}$  = 速度指令
- $N_M$  = 電動機速度
- $N_L$  = 負荷側機械速度
- $N_B$  = 反負荷側回転体速度
- $T_M$  = 電動機トルク
- $T_{L1}$  = 電動機負荷側駆動軸トルク
- $T_{L2}$  = 負荷トルク
- $T_B$  = 反電動機負荷側駆動軸トルク

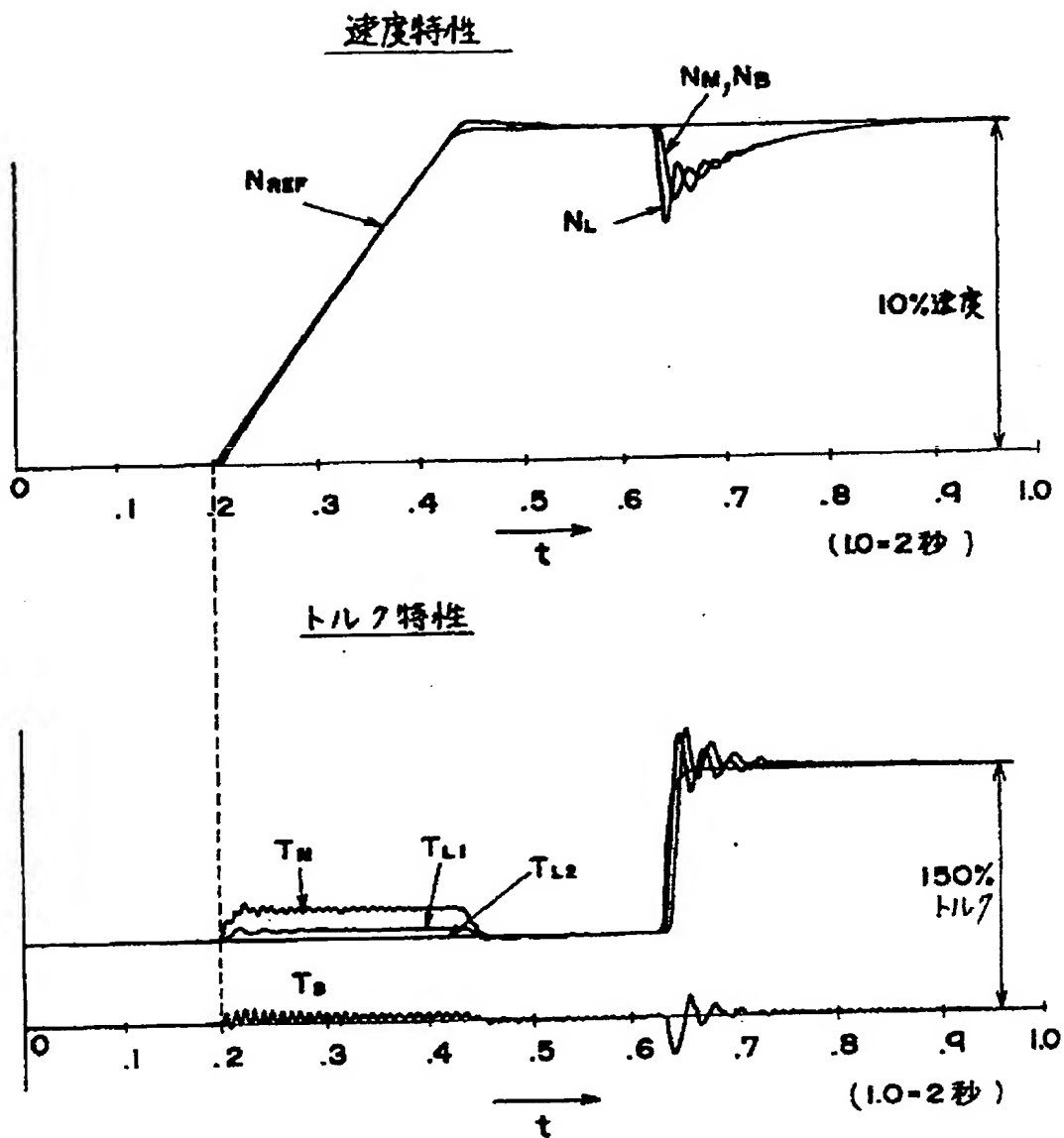
【第5図】



【第6図】



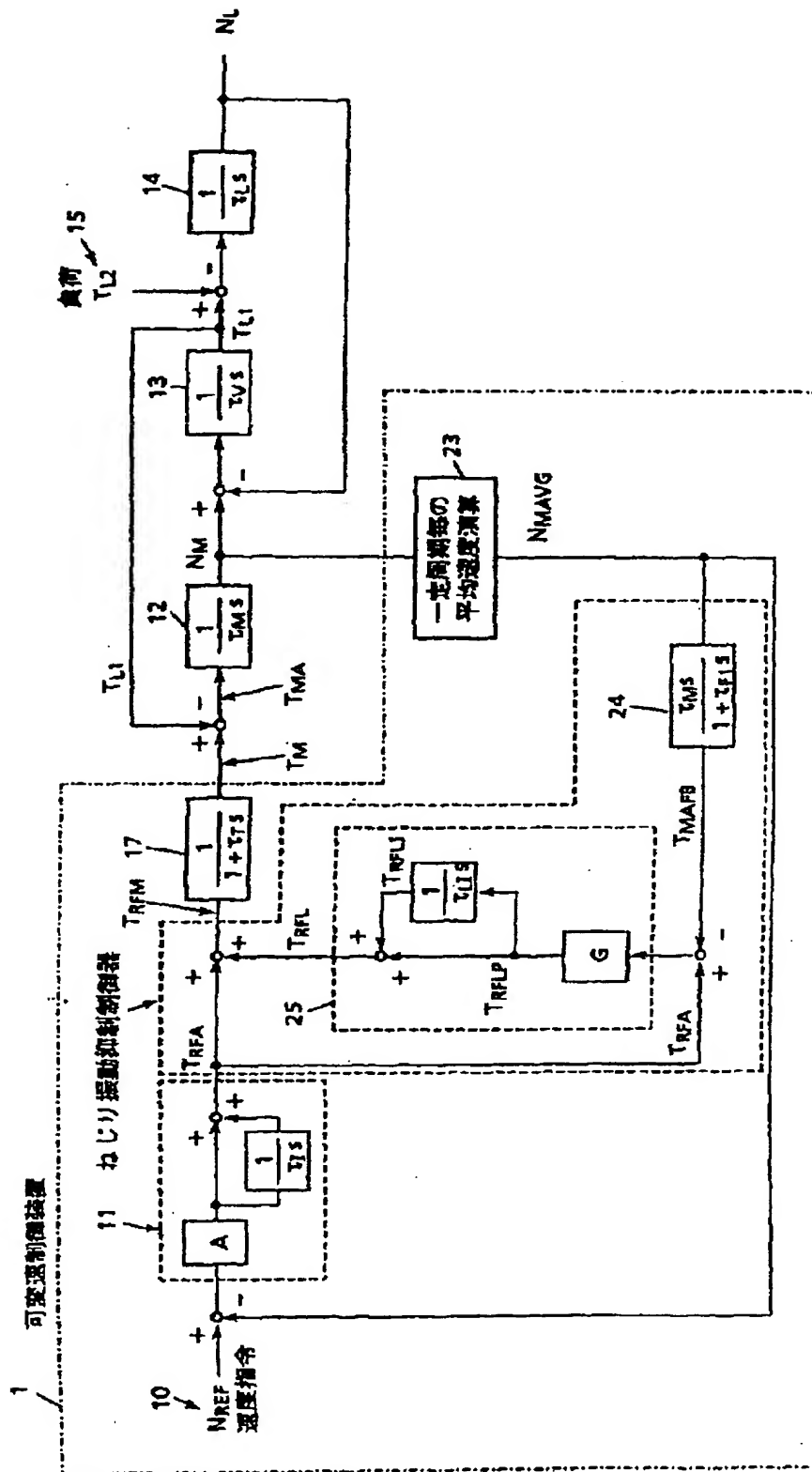
【第7図】



- |           |                 |
|-----------|-----------------|
| $N_{REF}$ | = 速度指令          |
| $N_M$     | = 電動機速度         |
| $N_L$     | = 負荷側機械速度       |
| $N_B$     | = 反負荷側回転体速度     |
| $T_M$     | = 電動機トルク        |
| $T_{L1}$  | = 電動機負荷側駆動軸トルク  |
| $T_{L2}$  | = 負荷トルク         |
| $T_B$     | = 反電動機負荷側駆動軸トルク |



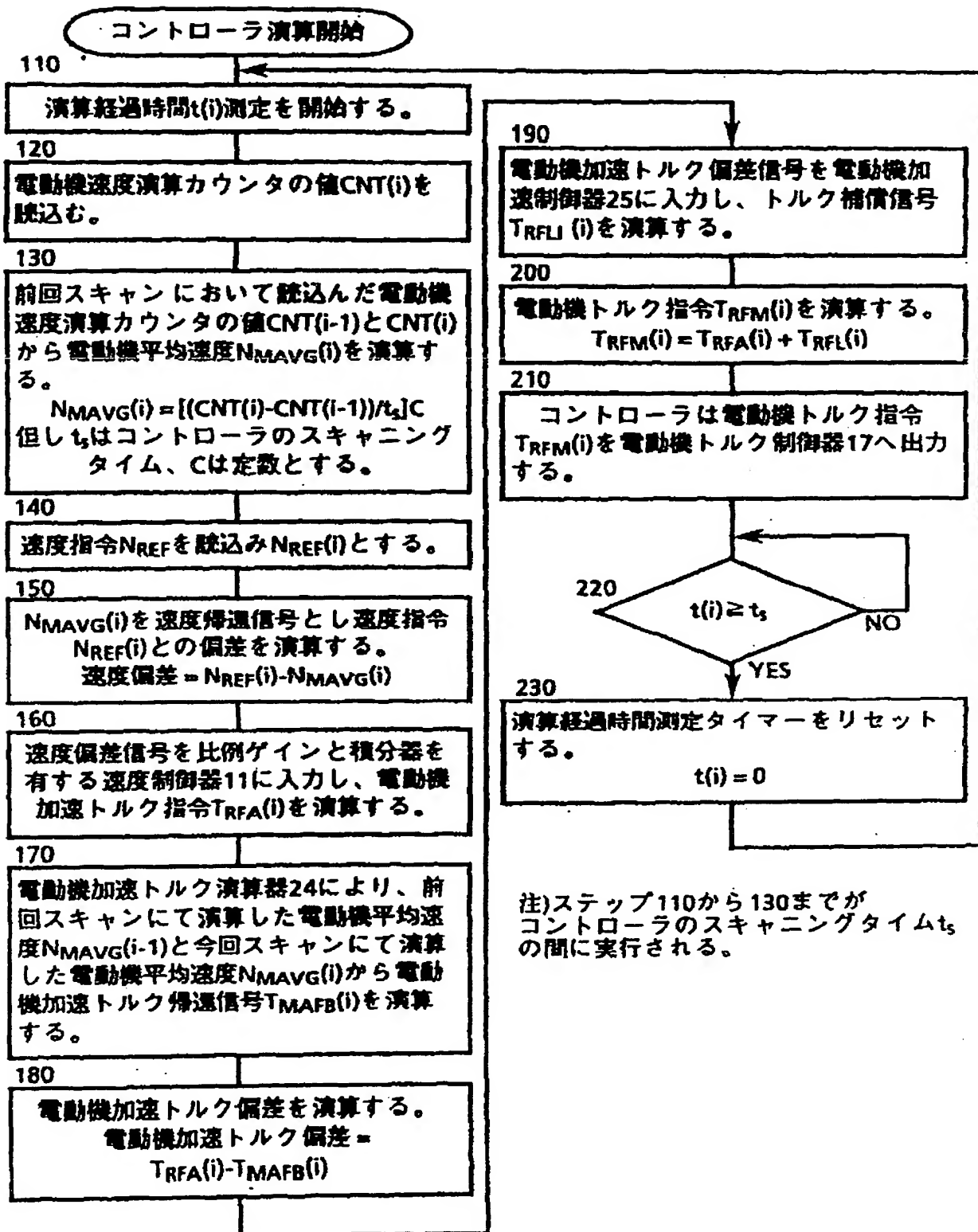
【第9図】



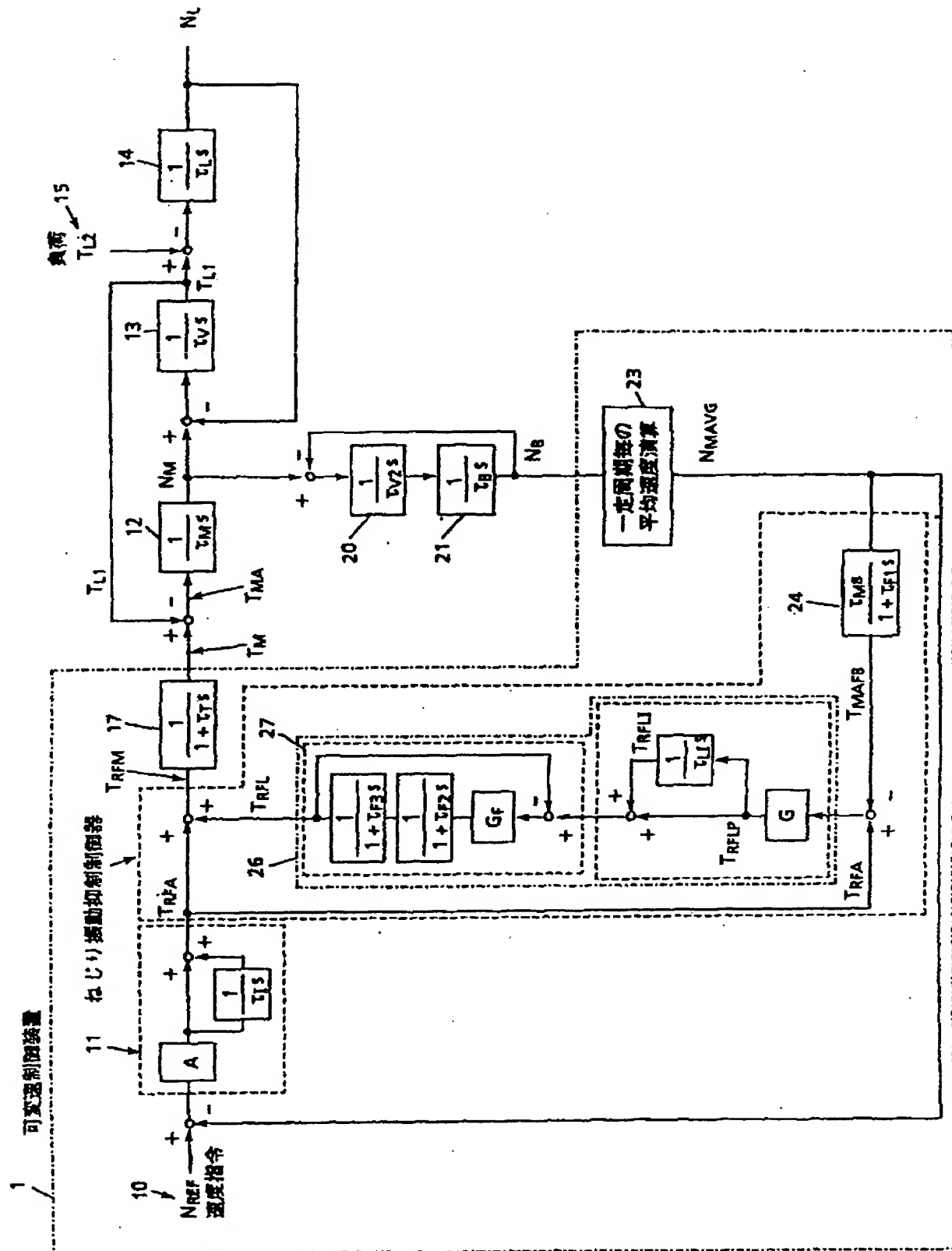




【第11図】

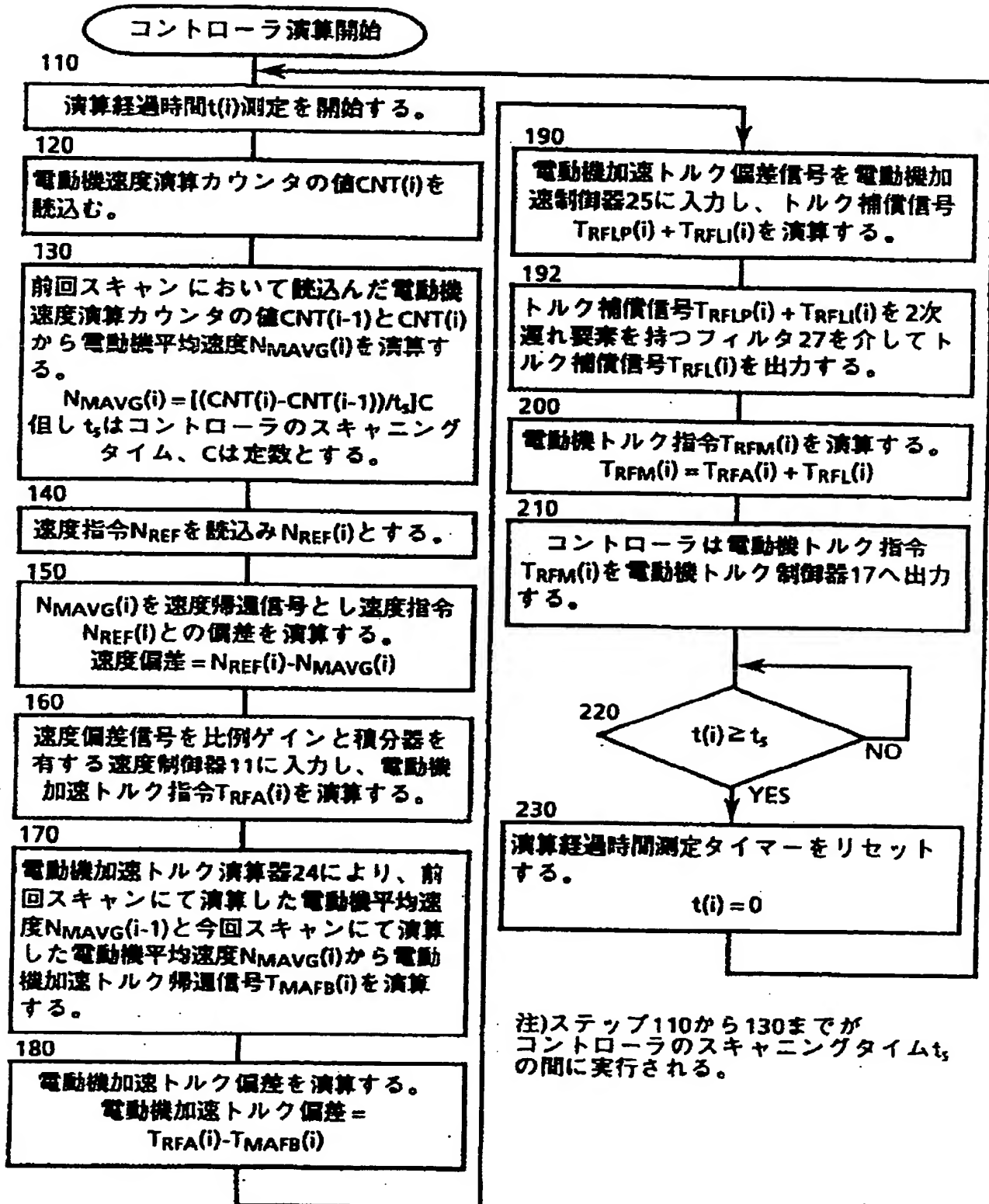


【第 13 図】

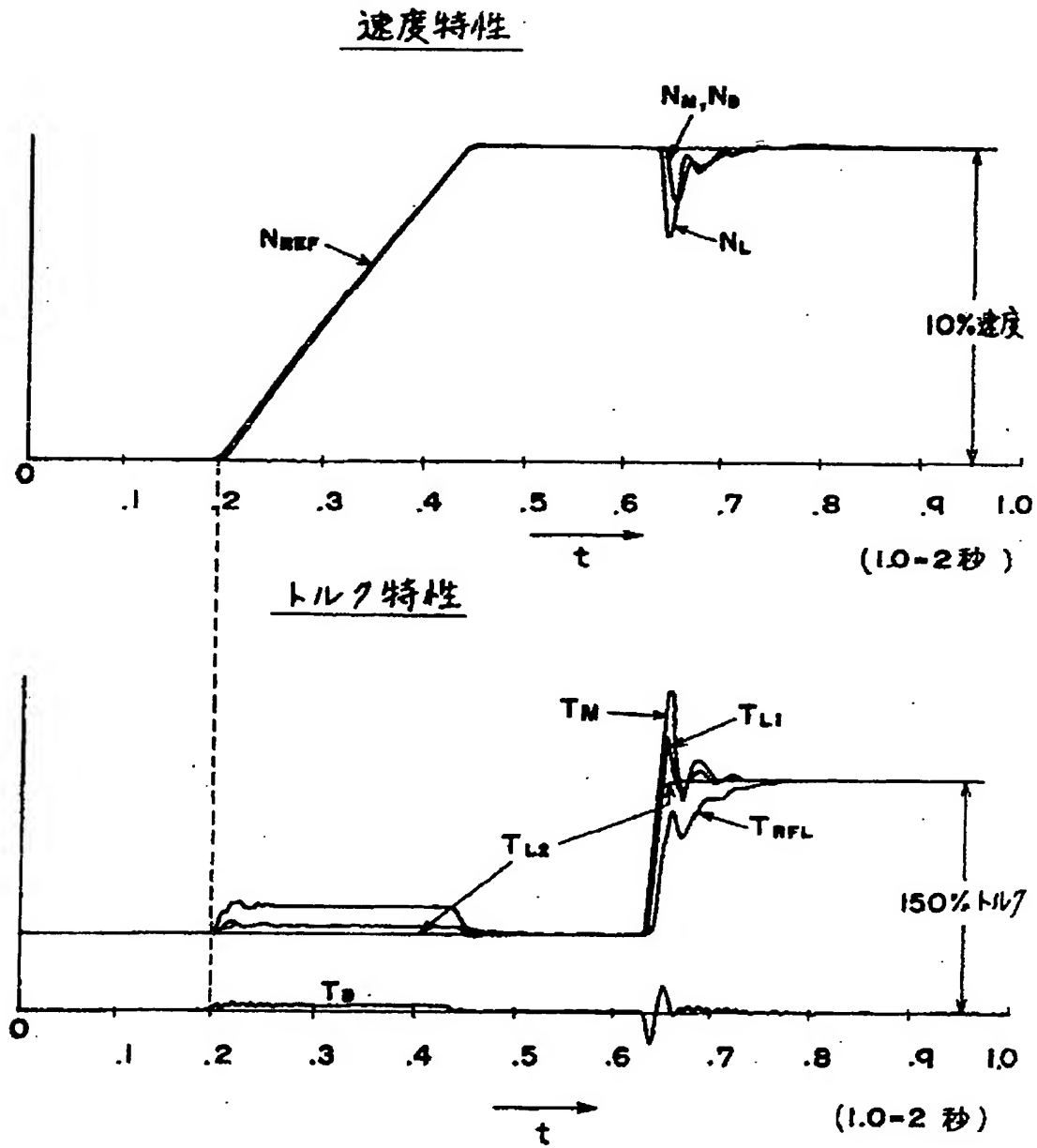




【第15図】



【第16図】



- $N_{REF}$  = 速度指令
- $N_M$  = 電動機速度
- $N_L$  = 負荷速度
- $T_M$  = 電動機トルク
- $T_{L1}$  = 負荷駆動軸トルク
- $T_{L2}$  = 負荷トルク

フロントページの続き

(56) 参考文献 特開 昭57-83181 ( J P , A )  
特開 平 2 -219485 ( J P , A )

(58) 調査した分野 ( Int . Cl . 7 , D B 名 )

H02P 5/00

G05D 13/62

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**